

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

THOMSON  
DELPHION

RESEARCH  
My Account | Products

PRODUCTS  
Search: QuickNumber Boolean Advanced Derwent

INSIDE DELPHION  
Help

The Delphon Integrated View

Get Now: ☒ PDF | [More choices...](#)

Tools: Add to Work File:

View: [Expand Details](#) | [INPADOC](#) | Jump to:  ☒ Go to: Derwent ☒ Email this to a friend

Title: **DE4227734C2: Anordnung und Verfahren zum Messen der Dicke einer Schicht**

Derwent Title: Thin film thickness contactless measuring system e.g. for electrically-conductive film - has inductive sensors located on either side of film for generating AC magnetic field towards and away from film, by rotation of sensor into upright and inverted positions [Derwent Record]

Country: DE Germany  
Kind: C2 Patent Specification (Second Publ.)<sup>1</sup> (See also: [DE4227734A1](#))  
Inventor: Thorn, Gernot, Dipl.-Ing.; Hanau, Germany 63454  
Assignee: Leybold AG, 63450 Hanau, DE  
News, Profiles, Stocks and More about this company

Published / Filed: 1996-05-15 / 1992-08-21

Application Number: **DE1992004227734**

IPC Code: **G01B 7/06; G01B 21/08; G01N 27/72;**

ECLA Code: **G01B7/10C;**

Priority Number: 1992-08-21 **DE1992004227734**

Attorney, Agent or Firm: Schickedanz, W., Dipl.-Ing., Patentanwalt ; , Offenbach 63073

INPADOC Legal Status: [Show legal status actions](#) [Get Now: Family Legal Status Report](#)

Related Applications:

Application Number	Filed	Patent	Pub. Date	Title
			1994-02-24	Anordnung und Verfahren zum Messen der Dicke einer Schicht



High Resolution  
14 pages

Family: [Show 2 known family members](#)

Description: [Expand full description](#)

±

First Claim:

Show all claims 1. Anordnung zum berührungslosen Messen der Dicke von elektrisch leitenden Schichten, wobei die zu messende Schicht einen vorgegebenen Abstand von zwei Sensoren (2 bis 5) hat, die jeweils ein Wechselfeld erzeugen und wenigstens zwei Positionen einnehmen können, wobei in der ersten Position das Wechselfeld auf die zu messende Schicht (1) gerichtet ist und in der zweiten Position dieses Feld von der zu messenden Schicht (1) weggerichtet ist, mit den weiteren Merkmalen, daß

- a) beidseitig zu der zu messenden Schicht (1) jeweils einer der Sensoren (z. B. 4, 5) vorgesehen ist,
- b) jeder dieser Sensoren (2 bis 5) mit einer Spule (13, 14) versehen ist, die von einem Wechselstrom durchflossen wird.
- c) Vorrichtungen vorgesehen sind, mit denen die Sensoren (2 bis 5) und damit die Spulen (13, 14) um ca. 180° gedreht werden können,
- d) eine Schaltungsanordnung (20 bis 32), mit welcher die durch die Spulen (13, 14) fließenden Ströme ausgewertet werden, vorgesehen ist.

Domestic References:

PDF	Patent	Pub.Date	Inventor	Assignee	Title
<input checked="" type="checkbox"/>	DE2111213	1982-12-23	Brunner, Mathias, Tuescherz, CH	Zumbach Electronic AG, 2552 Orpund, CH	Einrichtung zur berührungslosen Messung der Dicke einer Schicht aus Isoliermaterial ueber einem metallischen Teil
<input checked="" type="checkbox"/>	DE4011717	1991-10-17	Mandl, Roland, Dipl.-Ing.	Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co KG, 8359 Ortenburg, DE	Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmesseinrichtung und Dickenmesseinrichtung zur Dickenmessung bzw. Ueberwachung von Schichtdicken, Baendern, Folien o. dgl
<input checked="" type="checkbox"/>	DE3815009	1989-11-09	Thorn, Gernot, Dipl.-Ing.	Leybold AG, 6450 Hanau, DE	Einrichtung und Verfahren zum zerstörungsfreien Messen des ohmschen Widerstands duenner Schichten nach dem Wirbelstrom-Prinzip
<input checked="" type="checkbox"/>	DE3335766	1985-04-11	Thorn, Gernot, Dipl.-Ing.	Leybold-Heraeus GmbH, 5000 Koeln, DE	Anordnung zur elektrischen Messung von Schichtdicken an laufenden Baendern

<input checked="" type="checkbox"/>	DE3324701	1984-02-09	Iwasyuk, Boris N.	Twin City International, Inc., 14150 Amherst, N.Y., US	Vorrichtung zur Messung von Schichtdicken an ausgewählten Bereichen eines beweglichen bandartigen Materials
<input checked="" type="checkbox"/>	DE3300320	1983-09-01	Beyer, Wolfgang	VEB Kombinat Polygraph "Werner Lamberg" Leipzig, DDR 7050 Leipzig, DD	Kontroll- und Auswerteeinrichtung zur Fehl- und Mehrfachbogenkontrolle sowie Dickenmessung
<input checked="" type="checkbox"/>	DE2345849	1975-03-20	Thorn, Gernot, Dipl.-Ing., 6450 Hanau	Leybold-Heraeus GmbH & Co KG, 5000 Koeln	Anordnung zur beruehrungslosen Messung der Dicke elektrisch leitfaehiger Schichten

Foreign  
References:

PDF	Publication	Date	IPC Code	Assignee	Title
<input checked="" type="checkbox"/>	US4968947		G01R 27/02	LEYBOLD AKTIENGESELLSCHAFT	Apparatus for the non-destructive measurement of the ohmic resistance of thin layers
<input checked="" type="checkbox"/>	US4958131		G01B 7/08	LEYBOLD AKTIENGESELLSCHAFT	Circuit arrangement for the combined application of an inductive and capacitive device for the non-destructive measurement of the ohmic resistance of thin layers
	US2842737				

Other Abstract  
Info:

DERABS G94-066750



Nominate this for the Gallery...





- ②1 Aktenzeichen: P 42 27 734.5-52  
②2 Anmeldetag: 21. 8. 92  
④3 Offenlegungstag: 24. 2. 94  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 15. 5. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Leybold AG, 63450 Hanau, DE

⑦4 Vertreter:

Schickedanz, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 63073  
Offenbach

⑦2 Erfinder:

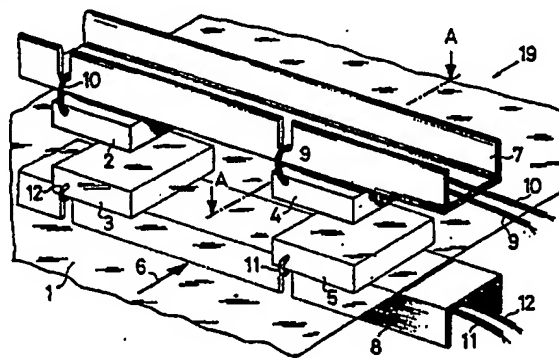
Thorn, Gernot, Dipl.-Ing., 63454 Hanau, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 21 11 213 C2  
DE 40 11 717 A1  
DE 38 15 009 A1  
DE 33 35 786 A1  
DE 33 24 701 A1  
DE 33 00 320 A1  
DE 23 45 849 A1  
US 49 68 947  
US 49 58 131  
US 28 42 737

⑤4 Anordnung und Verfahren zum Messen der Dicke einer Schicht

- ⑤7 Anordnung zum berührungslosen Messen der Dicke von elektrisch leitenden Schichten, wobei die zu messende Schicht einen vorgegebenen Abstand von zwei Sensoren (2 bis 5) hat, die jeweils ein Wechselfeld erzeugen und wenigstens zwei Positionen einnehmen können, wobei in der ersten Position das Wechselfeld auf die zu messende Schicht (1) gerichtet ist und in der zweiten Position dieses Feld von der zu messenden Schicht (1) weggerichtet ist, mit den weiteren Merkmalen, daß
- a) beidseitig zu der zu messenden Schicht (1) jeweils einer der Sensoren (z. B. 4, 5) vorgesehen ist,
- b) jeder dieser Sensoren (2 bis 5) mit einer Spule (13, 14) versehen ist, die von einem Wechselstrom durchflossen wird,
- c) Vorrichtungen vorgesehen sind, mit denen die Sensoren (2 bis 5) und damit die Spulen (13, 14) um ca. 180° gedreht werden können,
- d) eine Schaltungsanordnung (20 bis 32), mit welcher die durch die Spulen (13, 14) fließenden Ströme ausgewertet werden, vorgesehen ist.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zum Messen der Dicke einer Schicht nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 8.

5 Beschichtete Bänder, Folien oder Scheiben werden auf zahlreichen Gebieten benötigt. So werden beispielsweise Kunststofffolien mit einer besonderen Schicht versehen, um diese Folien gegen Geruchsdiffusion zu sperren. Auch Fensterscheiben werden mit einer dünnen Metallschicht versehen, um gegen eine unerwünschte Infrarotstrahlung zu sperren. Das Aufbringen von dünnen Schichten erfolgt dabei in der Praxis mittels verschiedener Verfahren, z. B. mittels galvanischer Prozesse oder mittels Aufdampfen im Vakuum. Wichtig ist in allen  
10 Fällen, daß die jeweils notwendige Schichtdicke eingehalten wird. Dies wiederum erfordert eine entsprechende Messung der Dicke der Schicht.

Es ist bereits eine Anordnung zur berührungslosen Messung der Dicke elektrisch leitfähiger Schichten bekannt, die eine Induktionsspule mit einem Wechselspannungsgenerator sowie eine Meßeinrichtung für die Erfassung des Induktivitätswertes der Induktionsspule aufweist (DE 23 45 849 A1). Bei dieser Anordnung ist eine  
15 zweite Induktionsspule vorgesehen, die mit der ersten einen Luftspalt bildet. Durch diesen Luftspalt wird ein Band mit einer zu messenden Schicht geführt. Beide Spulen, die gewissermaßen eine Gabel bilden, werden von einem gleichsinnigen Strom durchflossen, und die Ausgangssignale beider Spulen werden additiv einer Meßeinrichtung aufgeschaltet. Nachteilig ist bei dieser Anordnung, daß eine Nullung oder Nullmessung wegen der Ortsfestigkeit der Sensoren relativ zum bandförmigen Meßobjekt nicht möglich ist.

20 Außer der gabelförmigen Meßanordnung gibt es auch noch Meßanordnungen mit einer Umlenkwalze, über die ein Band geführt ist (DE 33 35 766 A1). Hierbei weist die Umlenkwalze mehrere Sensoren auf, die in der Umlenkwalze an deren Oberfläche und auf die Länge der Umlenkwalze verteilt angeordnet und durch eine Übertragungseinrichtung mit einer Auswerteschaltung verbunden sind. Die Schichtdicke kann dabei kapazitiv (US 4 968 947), induktiv (DE 38 15 009 A1) oder kapazitiv/induktiv (US 4 958 131) erfolgen. Die Null-Messung,  
25 d. h. die Messung, wenn keine Schicht vorliegt, und die Objekt-Messung, d. h. die Messung bei vorliegender Schicht, werden hierbei zeitmultiplex durchgeführt. Da der Sensor in die sich drehende Umlenkwalze eingebaut ist, über die Endlosband geführt ist, gelangt der Sensor einmal in die Nähe des Bands und einmal in einen Abstand von dem Band. Durch Auswertung des Null-Signals und des Meßsignals kann auf die Dicke der jeweiligen Schicht geschlossen werden.

30 Nachteilig ist bei der Meßwalzen-Methode, bei der die Messung entsprechend dem Umfang der Meßwalze in bestimmten zeitlichen Abständen erfolgt, daß bei hohen Bandgeschwindigkeiten und damit hohen Umdrehungszahlen der Walze Unwuchtprobleme an der Walze auftreten.

Es ist weiterhin eine Vorrichtung zur Messung von Schichtdicken an ausgewählten Bereichen eines beweglichen bandartigen Materials bekannt, die einen Meßfühler aufweist, der horizontal in seiner Meßposition versetzt  
35 werden kann (DE 33 24 701 A1). Dieser Meßfühler erzeugt allerdings kein Feld, das in der zu messenden Schicht einen physikalischen Effekt bewirkt, sondern er ist als Betastrahlungs-Rückstrahlungsfühler ausgebildet, der sich in Kontakt mit dem beschichteten bandartigen Material befinden kann.

Bei einer anderen bekannten Einrichtung zur berührungslosen Messung der Dicke einer Schicht aus Isoliermaterial über einem metallischen Teil ist mindestens ein Meßkopf durch eine berührungslos wirkende Servosteuerung bezüglich des Meßobjekts in einer bestimmten Lage gehalten (DE 21 11 213 C2). Es ist hierbei jedoch  
40 kein Sensor vorgesehen, der wenigstens zwei Positionen einnehmen kann.

Es ist ferner eine Vorrichtung bekannt, bei der eine Vielzahl von Sensoren an einer Haltevorrichtung vorgesehen sind (DE 33 00 320 A1). Bei den Sensoren handelt es sich indessen um dynamische Tonabnehmersysteme, die keine Wirbelströme in einer Schicht erzeugen.

45 Weiterhin sind ein Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung sowie eine Dickenmeßeinrichtung zum Überwachen von Schichtdicken, Bändern, Folien oder dergleichen bekannt, bei denen sich Sensoren zu beiden Seiten einer zu messenden Schicht befinden (DE 40 11 717 A1). Diese Sensoren können jedoch nicht um ca. 180° gedreht werden.

Schließlich ist auch noch eine Vorrichtung zum elektromagnetischen Ausmessen von Querschnitten ferromagnetischer Materialien bekannt, die Magnetisierungsspulen aufweist, welche ein homogenes Wechselstromfeld erzeugen, so daß in dem Querschnittsbereich der Materialien ein magnetischer Fluß induziert wird (US  
50 2 842 737). Sensoren, die um 180° geschwenkt werden können, sind hierbei nicht vorgesehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung und ein Verfahren zum Messen der Dicke von Schichten zu schaffen, wobei eine einwandfreie Nullmessung und Kalibrierung möglich ist.

55 Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 8 gelöst.

Der mit der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, daß eine genaue Messung der Schichtdicke auch bei Bändern durchgeführt werden kann, die mit hoher Geschwindigkeit durch eine Meßanordnung hindurchlaufen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigt:

60 Fig. 1 eine Prinzip-Darstellung eines Schichtdicken-Meßsystems mit ortsfesten Sensoren;

Fig. 2 Meßkurven, welche die Abhängigkeit der Meßgenauigkeit von der Lage einer Folie zwischen zwei Sensoren zeigen;

Fig. 3a einen Schnitt durch zwei einander gegenüberliegende Sensoren und durch eine Folie, die eine Beschichtung trägt;

65 Fig. 3b einen Schnitt durch die in Fig. 3a dargestellten Sensoren, die jedoch um 180° relativ zur Beschichtung gedreht sind;

Fig. 4 eine induktive Schaltungsanordnung zum Messen und Kalibrieren einer Schichtdicke;

Fig. 5a zwei in einem Abstand zueinander angeordnete Elektromagnete, deren ungleichnamige Pole einander gegenüberliegen;

Fig. 5b ein elektrisches Ersatzschaltbild der Anordnung nach Fig. 5a mit einem zusätzlichen Schwingkreiskondensator;

Fig. 5c eine Darstellung, bei welcher die Serienwiderstände als umgerechnete Parallelwiderstände gezeigt sind;

Fig. 5d eine der Fig. 5c entsprechende Darstellung, jedoch mit weggedrehten Elektromagneten;

Fig. 6 eine Vorrichtung mit mehreren drehbaren Sensoren;

Fig. 7 ein Blockschaltbild, das die Verarbeitung der Signale von mehreren Sensoren zeigt.

In der Fig. 1 ist ein Ausschnitt 19 aus einer Anlage dargestellt, in der die Dicken von Schichten gemessen werden, die auf einer Folie 1 oder dergleichen aufgebracht sind. Die Folie 1 wird an insgesamt vier Sensoren 2 bis 5 mit einer Geschwindigkeit  $v$  vorbeibewegt, was durch einen Pfeil 6 angedeutet ist. Jeweils zwei der vier Sensoren, z. B. 2 und 3 bzw. 4 und 5, liegen einander gegenüber, so daß die Folie 1 durch den Spalt bewegt wird, den diese Sensoren bilden. Die Sensoren 2 bis 5 sind an Schienen 7, 8 angeordnet, die gleichzeitig als Kabelkanäle dienen, in denen die elektrischen Zuleitungen 9, 10, 11, 12 zu den Sensoren geführt sind.

Bei den Sensoren 2 bis 5 handelt es sich um induktive Sensoren, die ein Wechselfeld erzeugen, das in der elektrisch leitenden und zu messenden Schicht Wirbelströme erzeugt, die wiederum auf das Wechselfeld rückwirken.

In der Fig. 2 ist dargestellt, wie die Dickenmessung in einer Anordnung gemäß Fig. 1 durch "Flattern" der Folie zwischen den Sensoren verfälscht werden kann. Mit Pos. 4 ist die räumliche Position des Sensors 4 bezeichnet, während mit Pos. 5 die räumliche Position des Sensors 5 bezeichnet ist. Der Abstand  $a$  zwischen den beiden Sensoren 4, 5 beträgt im dargestellten Beispiel 20 mm. Die ideale Mittenposition der Folie ist mit 40 angegeben.

Die in der Fig. 2 dargestellten drei Kurven I, II, III stellen die Meßspannungen dar, die proportional zu den Dicken von drei verschiedenen Schichten sind, und zwar in Abhängigkeit von der Auslenkung einer mit einer Schicht versehenen Folie aus der idealen Mittenlage. Die Kurve I zeigt die Meßwerte bei einer Schichtdicke von 100 nm, während die Kurven II und III die Meßwerte für Schichtdicken von 32 bzw. 18 nm darstellen. Fünfzig Nanometer entsprechen fünfhundert Angströmeinheiten und damit etwa der Dicke einer Aluminiumschicht, welche den elektrischen Widerstand von einem Ohm besitzt. Wird die Folie 1 beispielsweise um 4 mm aus der Mittenlage zum Sensor 5 ausgelenkt, so werden die Werte bei 41, 42, 43 gemessen. Man erkennt hieraus, daß erhebliche Meßfehler erst bei Auslenkungen auftreten, die über 4 mm hinausgehen, d. h. das Meßsystem weist eine hohe Lageunempfindlichkeit auf. Beträgt die Auslenkung etwa 1 mm, so ergibt sich ein Meßfehler von nur 0,5%.

Das in der Fig. 1 dargestellte und auch schon aus der DE 23 45 849 A1 bekannte Meßprinzip, das für hohe Bandgeschwindigkeiten, z. B. 20 m/s, geeignet ist, führt somit zu sehr genauen Werten. Der Nachteil besteht, wie bereits erwähnt, lediglich darin, daß das Nullen und Kalibrieren mit Schwierigkeiten verbunden ist.

Die Fig. 3a zeigt einen Schnitt durch die beiden Sensoren 4, 5, die Folie 1 und die Schienen 7, 8. Man erkennt hierbei, daß die Sensoren jeweils eine Magnetspule 13, 14 enthalten, die mit einer E-förmigen Ferritschalenkernhälfte 15, 16 einen Elektromagneten bildet, der ein Wechselfeld abgibt. Die Ferritschalenkernhälfte 15, 16 hat vom U-förmigen Sensorgehäuse 4, 5 einen vorgegebenen Abstand und ist mittels einer Schraube 17, 18 mit diesem und mit der Schiene 7, 8 verbunden.

Die Fig. 3b zeigt die gleiche Anordnung wie die Fig. 3a, jedoch mit um  $180^\circ$  gedrehten Sensoren 4, 5. Die Magnetfelder dieser Sensoren sind somit nicht mehr auf die Folie 1 gerichtet. An den Spulen 13, 14 der Sensoren können jetzt Spannungen abgegriffen werden, die sich von den Spannungen unterscheiden, die bei der Anordnung gemäß Fig. 3a abgegriffen werden konnten. Fig. 3a stellt gewissermaßen die eigentliche Messung des Widerstands der Schicht dar, während Fig. 3b eine Null-Messung darstellt. Mit Hilfe von Drehachsen 38, 39 können die Sensoren aus der Position der Fig. 3a in die Position der Fig. 3b gedreht werden.

In der Fig. 4 ist die Schaltungsanordnung näher dargestellt, mit der das durch eine Spule 13, 14 fließende Signal ausgewertet wird. Eine dortige Schaltungsanordnung ist bereits bekannt und z. B. in der DE 38 15 009 A1 beschrieben. Die Spulen 13 und 14 sind hierbei ein Teil eines Parallelschwingkreises 20, der einen Kondensator 21 aufweist. Parallel zur Spule 13 ist ein Kupferwiderstand 33 dargestellt. Die zu messende dünne Schicht, die sich auf der Folie 1 befindet, ist durch ein Ersatzschaltbild dargestellt, das eine Spule 22 aufweist, die parallel zu einem ohmschen Widerstand 23 geschaltet ist. Der aus den Spulen 13 und 14 und dem Kondensator 21 bestehende Parallelschwingkreis ist mit einem Oszillator 24 verbunden, der auf einer Frequenz von z. B. 1,8 MHz schwingt und der am Schwingkreis 20 eine konstante Spannung  $U_{\text{Sensor}}$  erzeugt. Die Einkopplung der Oszillatorspannung  $U_{\text{Osz}}$  in den Parallelschwingkreis 13, 14, 21 erfolgt über einen Widerstand 25, der als Meßwiderstand für den Strom  $I_1$  dient. Die über diesem Widerstand 25 abfallende Spannung  $U_1$  wird auf einen Verstärker 26 gegeben. Eine zwischen der Spannung  $U_{\text{Osz}}$  des Oszillators 24 und der Spannung des Parallelschwingkreises 13, 14, 21 auftretende Phasenverschiebung wird über ein Phasenkorrekturglied 27 auf den Oszillator 24 rückgekoppelt. Dieses Phasenkorrekturglied 27 bringt die Phasenabweichung durch Nachregelung der Frequenz auf Null. Die Bezugsspannung, für die  $\varphi = 0$  gilt, tritt am Punkt 28 auf. Das Phasenkorrekturglied 27 regelt somit den Phasenunterschied zwischen  $U_{\text{Osz}}$  und  $U_{\text{Sensor}}$  auf Null zurück, d. h. der  $\cos \varphi$  der Last 13, 14, 21 ist stets 1. Ohne die Korrektur durch das Phasenkorrekturglied 27 würde am Punkt 15, also zwischen dem Schwingkreis 13, 14, 21 und dem Widerstand 25, eine Phasenverschiebung auftreten. Durch die Korrektur auf  $\varphi = 0$  wird die Last des Schwingkreises 13, 14, 21 rein ohmsch, so daß die Induktivität der Spule 13 bzw. die Kapazität des Kondensators 21 außer Betracht bleiben können. Befindet sich der Parallelschwingkreis in Resonanz, so sind alle Blindkomponenten kompensiert, und die Hochfrequenzspannung des Schwingkreises hat denselben Phasenwinkel wie die Spannung  $U_{\text{Osz}}$ .

Hierdurch verbleibt im Parallelschwingkreis 13, 21 neben dem Kupferwiderstand der Spulen 13, 14 ein rein ohmscher Widerstand 29, der ein Maß für die Dicke der zu messenden Schicht ist, denn der rein ohmsche Widerstand 23 der Schicht wird über die Spulen 22, 13, 14, die als Transformator dienen, in den Schwingkreis 13, 21 herübertransformiert. Parallel zu den Spulen 13, 14 kann noch ein Kalibrierungswiderstand 30 mittels eines Schalters 31 geschaltet werden, der seinerseits von einer externen Steuereinrichtung 32 gesteuert wird. Beim Empfang eines Kalibrierungssignals von der Steuereinrichtung 32 schließt der Schalter 31 und fügt den Widerstand 30 in den Schwingkreis ein, der eine normale Last darstellt, d. h. er stellt einen Sollwert-Widerstand dar, der seinerseits ein Maß für die Sollwert-Dicke der zu messenden Schicht ist. Die Steuereinrichtung wirkt auch auf den Operationsverstärker 26 und stellt dessen Verstärkungsgrad z. B. stufenweise ein.

Die Spulen 13, 14 entsprechen z. B. den Spule 13, 14 in Fig. 2. Beide Spulen 13, 14 sind in Reihe geschaltet und werden im Normalbetrieb mit derselben Hochfrequenzspannung des Oszillators 24 beaufschlagt. Von Zeit zu Zeit findet jedoch ein Wegdrehen der Sensoren von der Beschichtung 100 der Folie 1 statt. Dabei ist dann auch der Strom, der in den Schwingkreis fließt, am Widerstand 25 als Spannungsabfall meßbar.

In der Fig. 5a sind die in den Fig. 3a, 3b dargestellten Ferritkerne 15, 16 noch einmal gezeigt, wobei die Spulen der Einfachheit halber weggelassen sind. Man erkennt hierbei die drei Schenkel 50, 51, 52 des Ferritkerns 15 sowie die drei Schenkel 53, 54, 55 des Ferritkerns 16. Die beiden äußeren Schenkel 50, 52 bzw. 53, 55 sind dann, wenn die Weicheisenteile nicht länglich, sondern topfförmig ausgebildet sind, Bestandteile desselben Rings.

Die dargestellten Feldlinien 56 zeigen den Verlauf für den Fall, daß der obere Weicheisenteil 15 einen inneren magnetischen Südpol und einen äußeren magnetischen Nordpol hat, während der untere Weicheisenteil einen inneren Nordpol und einen äußeren Südpol aufweist.

Das Ersatzschaltbild eines Ferrit-Schalenkernpaares mit Spulen ist in der Fig. 5b dargestellt, wo mit 60 und 65 zwei Streu-Induktivitäten bezeichnet sind, die keine Kopplung zu der zu messenden Schicht oder zueinander besitzen. Zwei Induktivitäten, die zu 100% miteinander und mit der zu messenden Schicht gekoppelt sind, sind mit 61 und 64 bezeichnet. Mit 62 und 63 sind die ohmschen Zusatzverluste durch die zu messende Schicht bezeichnet, die anteilig auf die beiden Teile 15, 16 entfallen. Die Kupferverluste der Spule sind durch die Bezugswerte 66 und 67 symbolisiert. Mit 21 ist die Kapazität zwischen den beiden Spulen bezeichnet.

In der Fig. 5c ist ein Ersatzschaltbild gezeigt, bei dem die Serienwiderstände 62, 63 und 66, 67 der Fig. 5b in Parallelwiderstände 70, 71 umgerechnet sind. Der Widerstand 70 entspricht den Kupferwiderständen 66, 67, während der Widerstand 71 den Widerständen 62, 63 entspricht. Die parallel umgerechneten Widerstände 62, 63 entsprechen dem Widerstand 29 in Fig. 4.

Eine der Darstellung gemäß Fig. 5c entsprechende Darstellung, bei welcher jedoch die Elektromagnete weggedreht sind, zeigt die Fig. 5d. Mit 72 ist hierbei der Kupferwiderstand bezeichnet. Die Induktivitäten parallel zu dem Widerstand 72 entsprechen im Prinzip den Induktivitäten 60 und 65 der Fig. 5c. Sie haben jedoch wegen der geänderten Feldgeometrie einen anderen Wert.

An den Anschlüssen der beiden in Reihe geschalteten Spulen 13, 14 kann man folgende Spannungen abgreifen:

$U_N$  = Spannung, wenn sich kein Meßobjekt zwischen den beiden Wechselstrom-Magneten 15, 16 befindet,  
 $U_M$  = Spannung, wenn sich ein Meßobjekt zwischen den beiden Wechselstrom-Magneten 15, 16 befindet,  
 $U_K$  = Spannung, wenn sich ein geeichtes Meßobjekt zwischen den beiden Wechselstrom-Magneten 15, 16 befindet.

Die Messungen, welche bei zur Folie gerichteten Sensoren ausgeführt werden, lassen sich in einer Tabelle wie folgt darstellen:

Spannung	Meßwert	meßbar im Prozeß	meßbar vor Prozeß
$U_N$	Nullwert ohne zu messende Schicht		X
$U_M$	Meßwert bei zu messender Schicht	X	
$U_K$	Kalibrierwert mit Schicht-Normal		X
$U_S$	Kalibrier-Simulation		X
Bei weggedrehten Sensoren sind zu messen:			
$U_{NW}$	Nullwert ohne zu messende Schicht	X	X
$U_{MW}$	Meßwert bei zu messender Schicht	X	
$U_{KW}$	Kalibrierwert mit Schicht-Normal		X
$U_{SW}$	Kalibrier-Simulation	X	X

Die Größe  $U_{KW}$  ist hier nur aus formellen Gründen genannt, denn es ergibt keinen Sinn, ein Kalibrier-Normal zwischen zwei voneinander abgewandten Sensorhälften zu bringen.

Es wird also schon ohne Meßobjekt, d. h. die dünne Schicht, eine Messung der "Null-Spannung"  $U_N$  durchgeführt. Der dabei ermittelte Wert ist als Null-Größe von jeder der danach folgenden Objektmessungen zu subtrahieren, denn jeder tatsächlich gemessenen Spannung ist die Null-Spannung linear überlagert. Es gilt somit



$$U_M - U_N = U_{MD} \text{ (Meßspannung für Dicke)}$$

In entsprechender Weise wird eine Kalibrierung mit einer Schichtprobe durchgeführt, deren Parameter bekannt sind

5

$$U_K - U_N = U_{KD} \text{ (Kalibrierung der Dicke)}$$

Für  $U_K$  soll die Anzeige des Meßergebnisses auch zu späteren Zeitpunkten, etwa wenn eine Nachkalibrierung durchgeführt wird, immer wieder den Anfangswert ergeben, was z. B. mit Hilfe eines Einstell-Potentiometers als "Faktor"-Speicher möglich ist. Im rechnergesteuerten Betrieb wird ein entsprechender Faktor zur Korrektur der Kalibrierungs-Messung auf den Eichwert hin ermittelt und gilt dann bis zur nächsten Eichung.

10

Beim rechnergesteuerten Betrieb ist es auch möglich, durch einen Festwiderstand 30, der zu dem Sensor-Schwingkreis parallelgeschaltet ist (vgl. Fig. 4) einen Kalibrierungsvorgang zu simulieren. Der Vorteil der simulierten Kalibrierung besteht darin, daß die Simulation ferngeschaltet werden kann, was besonders während eines laufenden Meßvorgangs die Nachkalibrierung ermöglicht. Für die simulierte Kalibrierung gilt:

15

$$U_S - U_N = U_{SD} \text{ (Simulation einer Dicke)}$$

Gegenüber der vorangegangenen Gleichung ist also nur die Kalibrierungsspannung  $U_K$  durch die Simulationsspannung  $U_{SD}$  ersetzt. Durch diesen Abgleich wird die Steilheit, d. h. die Empfindlichkeit der gesamten Meßanordnung immer wieder auf den am Anfang der Messung festgelegten Wert eingestellt, d. h. die Meßempfindlichkeit wird auf diese Weise stabilisiert.

20

$$U_{KD} \cdot FK = \text{const.} = U_{KA} \text{ (Kalibrier-Wert zu Beginn der Messung)}$$

25

bzw.

$$U_{SD} \cdot FS = \text{const.} = U_{SB} \text{ (Wert der Simulation zu Beginn der Messung)}$$

Hierbei sind FK bzw. FS die Korrektur-Faktoren, welche die Verstärkungsänderung der Gesamtmeßanordnung wieder auf den Anfangswert zurückführen. Aus den ermittelten Meßspannungen ergibt sich schließlich mit Hilfe der Stellheits-Faktoren

30

$S_L$ : Flächen-Leitwert/Spannung

$S_R$ : Flächen-Widerstand x Spannung bzw.

35

$S_d$ : Schichtdicken-Wert/Spannung

das Ergebnis des Meßvorgangs:

Flächen-Leitfähigkeit:  $G = U_{MD} \cdot S_L$

40

Flächen-Widerstand:  $R = S_R \cdot 1/U_{MD}$

oder

Schicht-Dicke:  $d = U_{MD} \cdot S_d$

Hierbei gelten auch die allgemeinen Beziehungen  $G = \kappa \cdot d$  bzw.  $R = \rho/d$ , worin  $\kappa$  die spezifische Leitfähigkeit und  $\rho$  der spezifische Widerstand sind.

45

Die hier gezeigte Weise, eine Schichteigenschaft zu messen, eignet sich für die Messung an Einzelobjekten, welche auf einer festen Bahn zwischen den beiden Spulen 13, 14 hindurch transportiert werden. Sehr günstig wirkt sich hierbei die Tatsache aus, daß zwischen den einzelnen Meßobjekten die Möglichkeit zur Nullung oder zur Kalibrierung besteht, wobei zur Kalibrierung auch die erwähnte automatische Simulation einer Schicht-Probe mittels eines Widerstands verwendet werden kann.

50

In der Fig. 6 ist eine Anordnung dargestellt, bei der mehrere Sensoren einer Folie gegenüberliegen, die mit einer Beschichtung 100 versehen ist, deren Dicke gemessen werden soll. Die Bewegung von Folie 1 und Beschichtung 100 erfolgt hierbei in die Zeichenebene hinein, was durch das Symbol 101 angedeutet ist. Die Fig. 6 zeigt somit eine Variante der Anordnung nach Fig. 1, bei der statt vier Sensoren 2 bis 5 insgesamt acht Sensoren 102 bis 109 vorgesehen sind. Außerdem sind die Sensoren 102 bis 109 von oben und nicht von der Seite gehalten. Diese vertikale Halterung wird durch zwei Schienen 110, 111 bewirkt, die parallel zur Folie 1 verlaufen. Diese Schienen 110, 111 können von der Folie 1 weg und auf diese zu bewegt werden, was durch die Doppelpfeile 112, 113 angedeutet ist. Hierzu dienen zwei Laufschiene 114, 115, auf denen die Schienen 110, 111 über nicht dargestellte Rollen oder Räder ruhen.

55

60

Da die Sensoren 102 bis 109 um 180 Grad gedreht werden können — was durch die Drehpfeile 116 bis 119 symbolisiert ist —, um ihre auf die Folie gerichteten Magnetfelder von dieser abzuwenden, könnte es vorkommen, daß die Sensoren bei einer solchen Drehung gegen die Folie 1 stoßen. Damit dies vermieden wird, werden sie mit den Schienen 110, 111 von der Folie weggefahren. Die Drehung um 180° kann auf verschiedene Weise vorgenommen werden. Beispielsweise kann eine Drehachse, die mit einem Sensor 102 verbunden ist, durch einen mit dieser Achse 120 gekoppelten Schrittmotor um 180° gedreht werden. Auf eine lineare Bewegung gemäß den Pfeilen 112, 113 kann verzichtet werden, wenn der Abstand der Sensoren 102—109 hinreichend groß von der Folie 1 ist. Es ist auch eine Drehbewegung möglich, wie sie durch die Pfeile 130, 132 angedeutet ist.

65

Mit den Anordnungen gemäß Fig. 1, 3a und 6 wird eine Basiskalibrierung in der Weise durchgeführt, daß eine Eichprobe zwischen die beiden Sensoren 4, 5 eingebracht und der Meßwert ermittelt wird. Von diesem Meßwert wird der Nullwert abgezogen, d. h. derjenige Wert, der sich bei nicht vorhandener Eichprobe ergibt. Da man jedoch während eines laufenden Meßvorgangs, wenn sich z. B. ein Band mit hoher Geschwindigkeit zwischen den beiden Sensoren 4, 5 bewegt, keine Eichprobe an den Meßort bringen kann, wird die Kalibrierung simuliert, indem ein Meßwiderstand 30 in die Meßschaltung gemäß Fig. 4 eingebracht wird, dessen Wert bei der Basiskalibrierung ermittelt wurde.

Weil die Simulation immer durchführbar ist, kann die Steilheit oder Empfindlichkeit der Meßanordnung jederzeit bestimmt werden, und zwar auch dann, wenn sich eine zu messende Schicht zwischen den Sensoren 4, 5 befindet. In der Praxis wird die Empfindlichkeit in bestimmten Zeitabständen gemessen und im Auswertungsverfahren als aktueller Korrekturfaktor berücksichtigt. Die erwähnte Basiskalibrierung wird dagegen als Absolutwert-Kalibrierung für jedes Sensorpaar getrennt durchgeführt. Von diesem Wert unterscheidet sich die Simulationseichung nur durch einen Faktor, der auch in die Auswertung eingearbeitet wird.

In der Fig. 7 ist das Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Anordnung in 8-kanaliger Ausführung dargestellt.

Es sind hierbei acht Sensorpaare vorgesehen, von denen nur das erste und das achte Paar durch die Bezugswerte 4, 5 bzw. 80 und 81 dargestellt ist. Alle Sensorpaare 4, 5 ... 80, 81 werden jeweils einer eigenen Auswertelektronik 82, ... 83 zugeführt, die über eine Anpassungsschaltung 84 und eine Schnittstelle 85 mit einem Rechner 86 verbunden ist. An den Rechner sind ein Bildschirm 87, eine Regelungsschaltung 88 und ein Drucker 89 angeschlossen. Die Energieversorgung der Anordnung erfolgt aus dem Netz 90, an das ein Netzteil 91 angeschlossen ist. Der obere Teil der in der Fig. 7 dargestellten Anordnung mit den Bauteilen 4, 5, 80, 81, 82, 83, 84, 85 befindet sich im Vakuum, während der untere Teil mit den Bauteilen 86—91 in Luft angeordnet ist.

#### Patentansprüche

1. Anordnung zum berührungslosen Messen der Dicke von elektrisch leitenden Schichten, wobei die zu messende Schicht einen vorgegebenen Abstand von zwei Sensoren (2 bis 5) hat, die jeweils ein Wechselfeld erzeugen und wenigstens zwei Positionen einnehmen können, wobei in der ersten Position das Wechselfeld auf die zu messende Schicht (1) gerichtet ist und in der zweiten Position dieses Feld von der zu messenden Schicht (1) weggerichtet ist, mit den weiteren Merkmalen, daß

- a) beidseitig zu der zu messenden Schicht (1) jeweils einer der Sensoren (z. B. 4, 5) vorgesehen ist,
- b) jeder dieser Sensoren (2 bis 5) mit einer Spule (13, 14) versehen ist, die von einem Wechselstrom durchflossen wird.
- c) Vorrichtungen vorgesehen sind, mit denen die Sensoren (2 bis 5) und damit die Spulen (13, 14) um ca. 180° gedreht werden können,
- d) eine Schaltungsanordnung (20 bis 32), mit welcher die durch die Spulen (13, 14) fließenden Ströme ausgewertet werden, vorgesehen ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Sensor drehbar an einer Haltevorrichtung (111) befestigt ist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Haltevorrichtung (111) linear verschiebbar ist.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Sensoren (102 bis 109) an einer Haltevorrichtung (110, 111) angeordnet sind.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander gegenüberliegenden und ein Sensorpaar bildenden Sensoren (102, 106), zwischen denen sich die zu messende Schicht (100) befindet, zu einem ersten Zeitpunkt ungleichnamige und auf die zu messende Schicht (100) gerichtete Felder aufweisen, und daß zu einem zweiten Zeitpunkt das Feld beider Sensoren (102, 106) von der Schicht (100) weggerichtet ist, wobei die zu beiden Zeitpunkten auftretenden Meßwerte miteinander verglichen werden.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Wechselfeld durch einen Elektromagneten (15) erzeugt wird, der einen äußeren Pol (50, 52) und einen inneren Pol (51) aufweist, und daß um den inneren Pol (51) eine mit einer Wechselspannungsquelle verbundene Spule (13) gelegt ist.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromagnet die Form eines Topfes (50, 52) mit einem coaxialen Steg (54) in der Mitte des Topfes (50, 52) hat.

8. Verfahren zum Messen der Dicke einer Schicht mit einer Anordnung, die wenigstens zwei einander gegenüberliegende Elektromagneten mit jeweils zwei Polen aufweist, wobei sich das zu messende Objekt zwischen den beiden Elektromagneten befindet, mit folgenden Schritten:

- a) es wird eine erste Spannung an den Spulen der beiden in Reihe geschalteten Elektromagnete gemessen, wenn sich ungleichnamige Polaritäten der beiden Elektromagnete gegenüberstehen und sich keine zu messende Schicht zwischen den Elektromagneten befindet;
- b) es wird das Magnetfeld in eine Richtung gebracht, in der die beiden Elektromagnete nicht mehr miteinander gekoppelt sind, und es wird eine zweite Spannung an der Reihenschaltung beider Elektromagnete gemessen;
- c) es wird eine dritte Spannung an der Reihenschaltung der Spulen beider Elektromagnete gemessen, wenn sich ungleichnamige Polaritäten der beiden Elektromagnete gegenüberliegen und sich die zu messende Schicht zwischen den Elektromagneten befindet;
- d) es wird das Magnetfeld beider Elektromagnete in eine Richtung gebracht, in der es nicht mehr mit der zu messenden Schicht in Wirkkontakt ist, und es wird eine vierte Spannung an der Reihenschaltung der beiden Elektromagnete gemessen;

- e) die zweite Spannung und die erste Spannung werden voneinander abgezogen ( $U_N - U_{NW} = U_{\text{kor}}$ ), wodurch sich eine Korrekturspannung ergibt;  
f) von der Differenz zwischen dritter und vierter Spannung wird die Korrekturspannung ( $U_M - U_{MW} - (U_N - U_{NW}) = U_{MD}$ ) abgezogen, wodurch sich eine Spannung ( $U_{MD}$ ) ergibt, die nur noch von der Leitfähigkeit der Schicht und damit von deren Dicke abhängig ist.

5

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

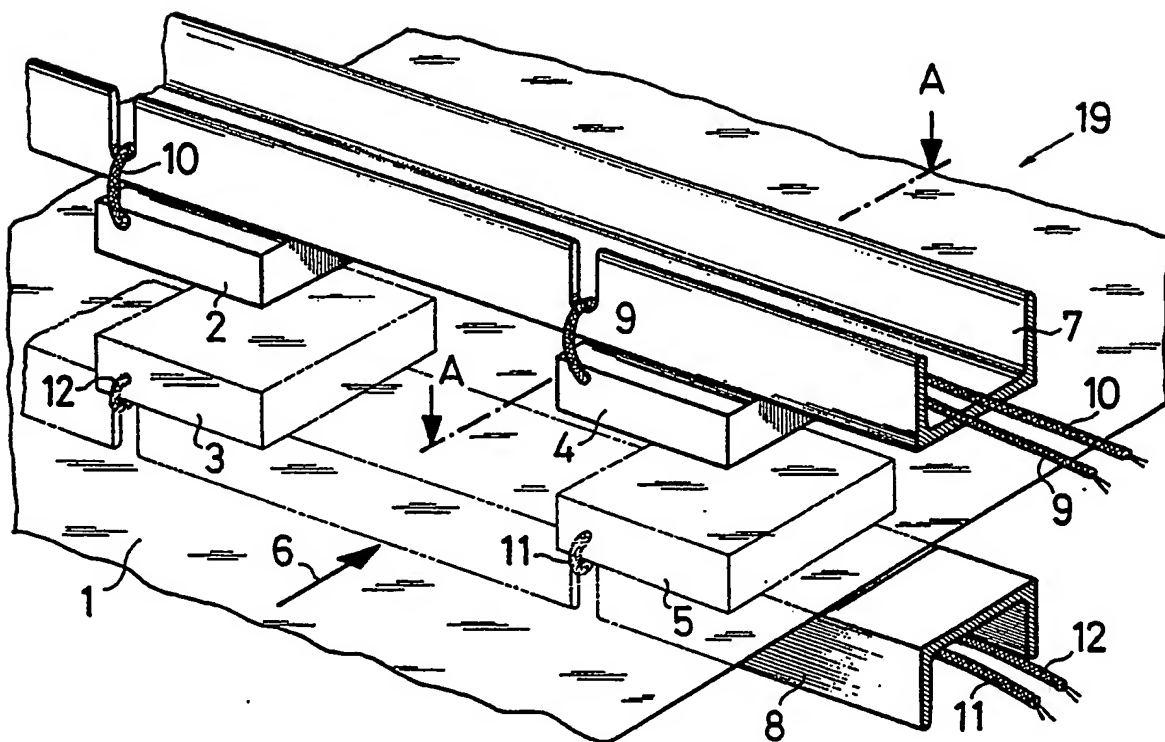
45

50

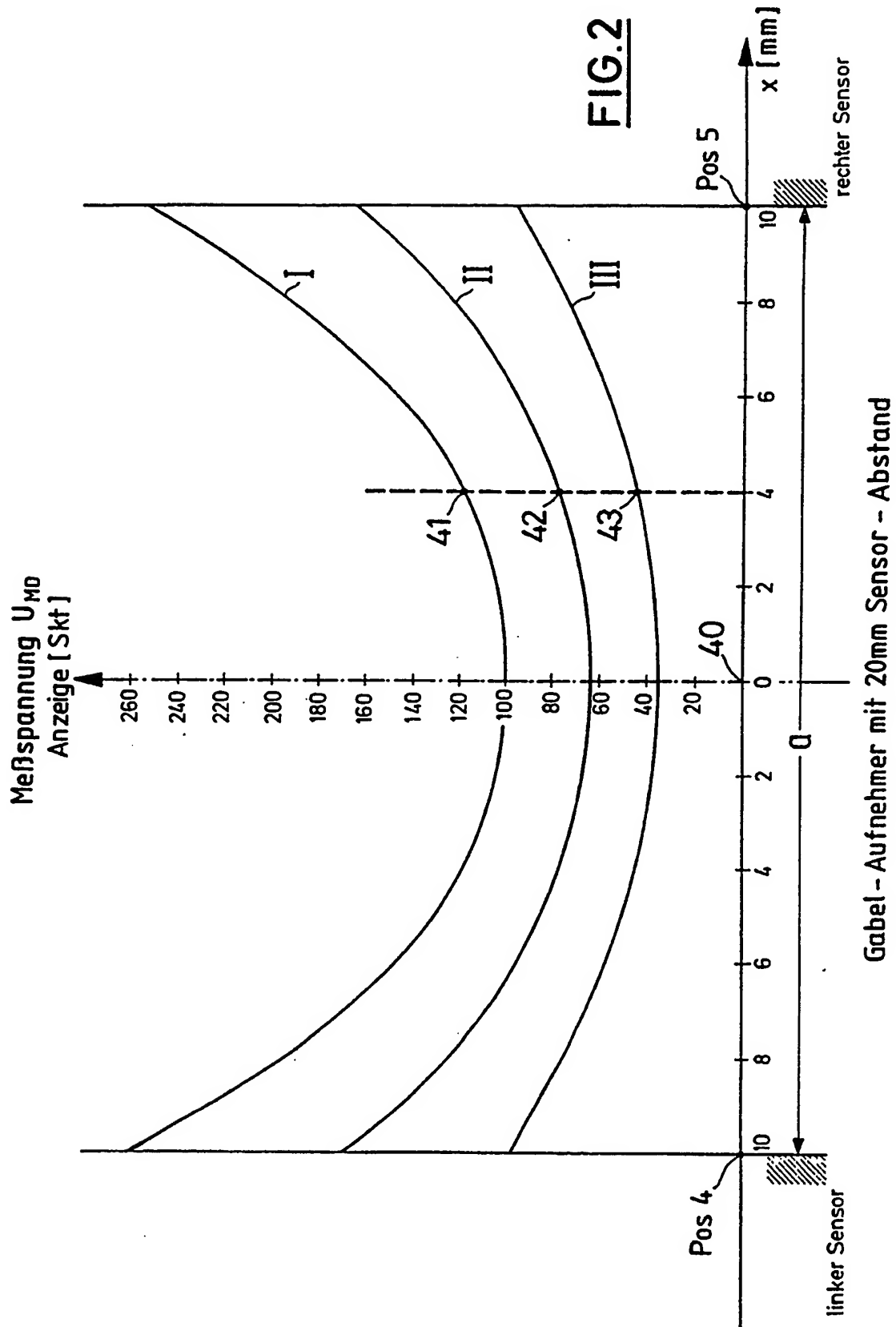
55

60

65



**FIG.1**



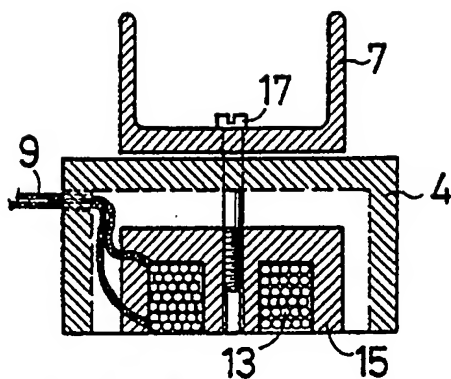


FIG. 3a

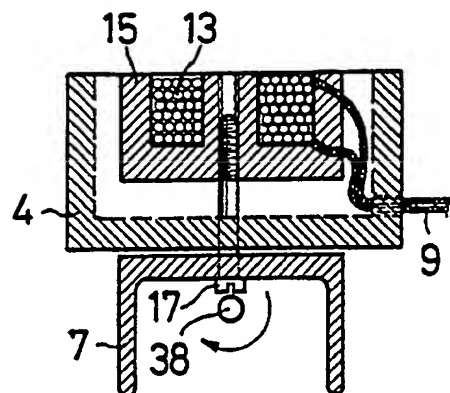
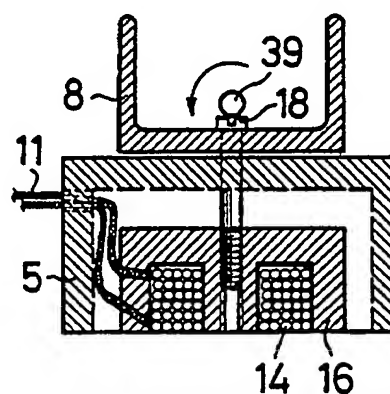
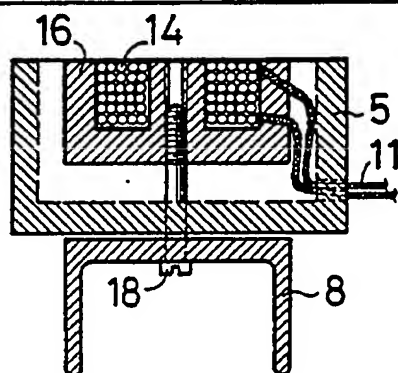
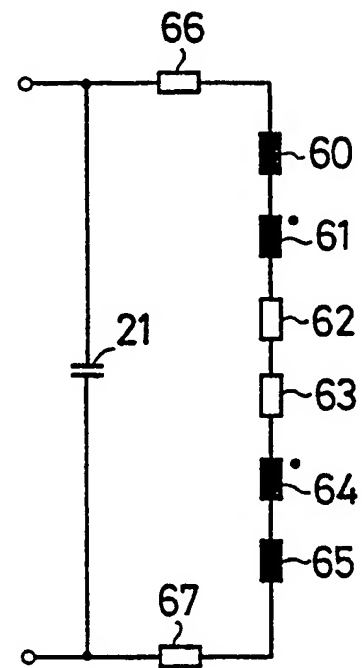
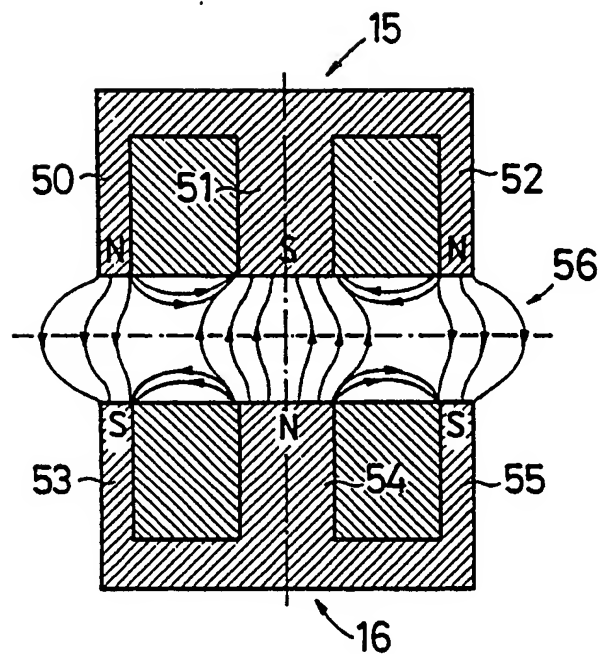
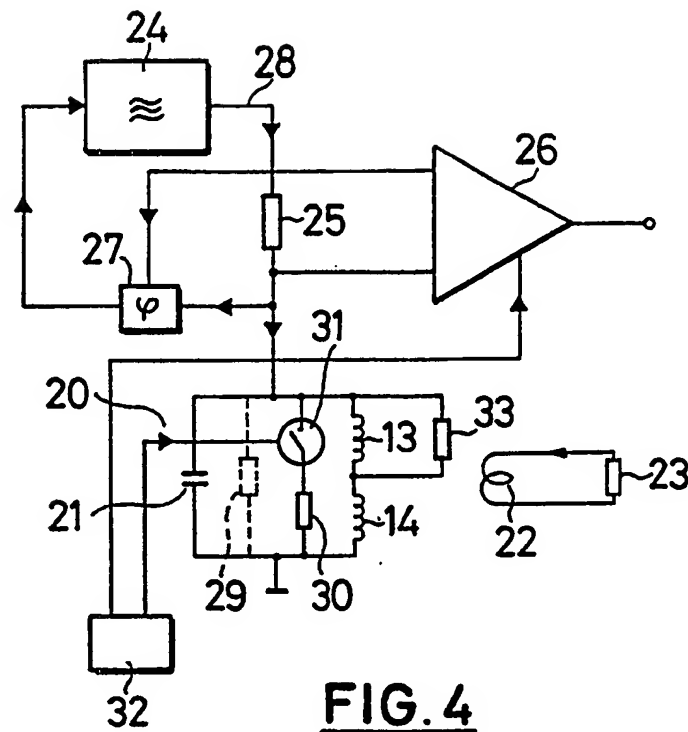


FIG. 3b





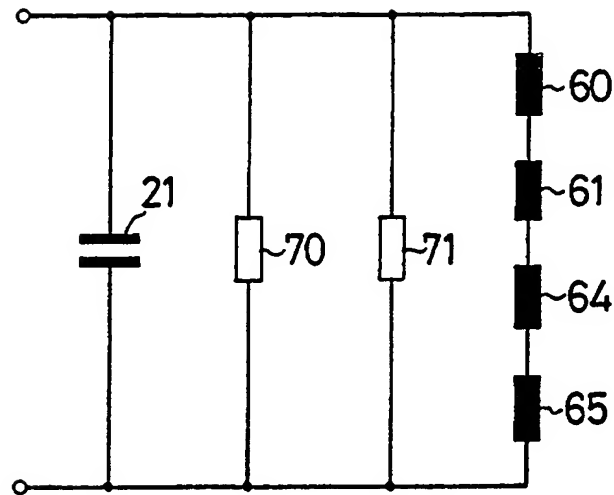


FIG. 5c

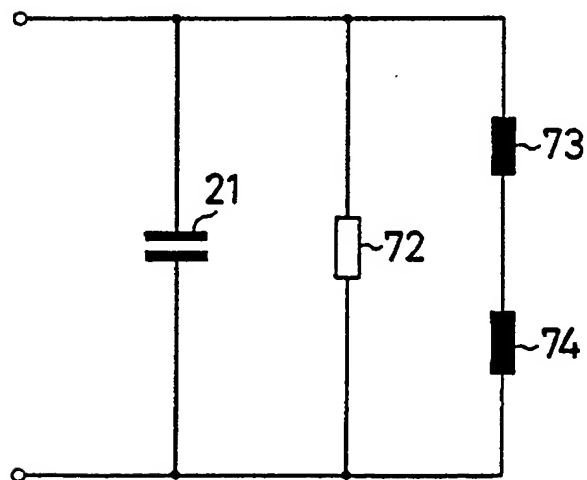
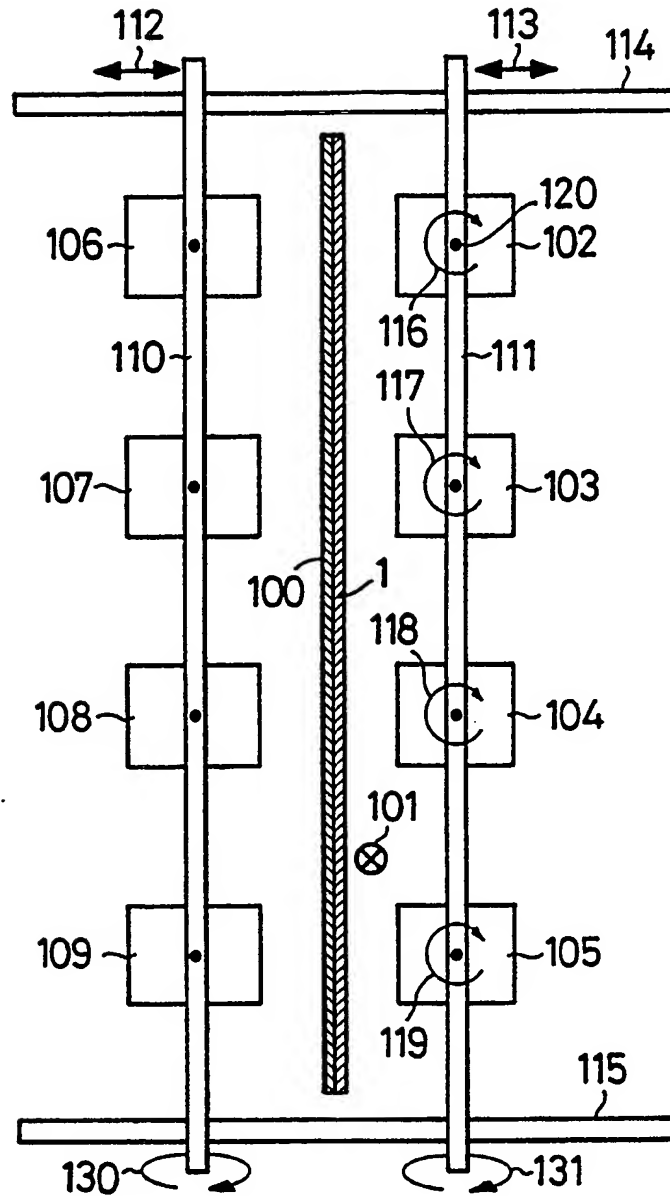


FIG. 5d





**FIG. 6**

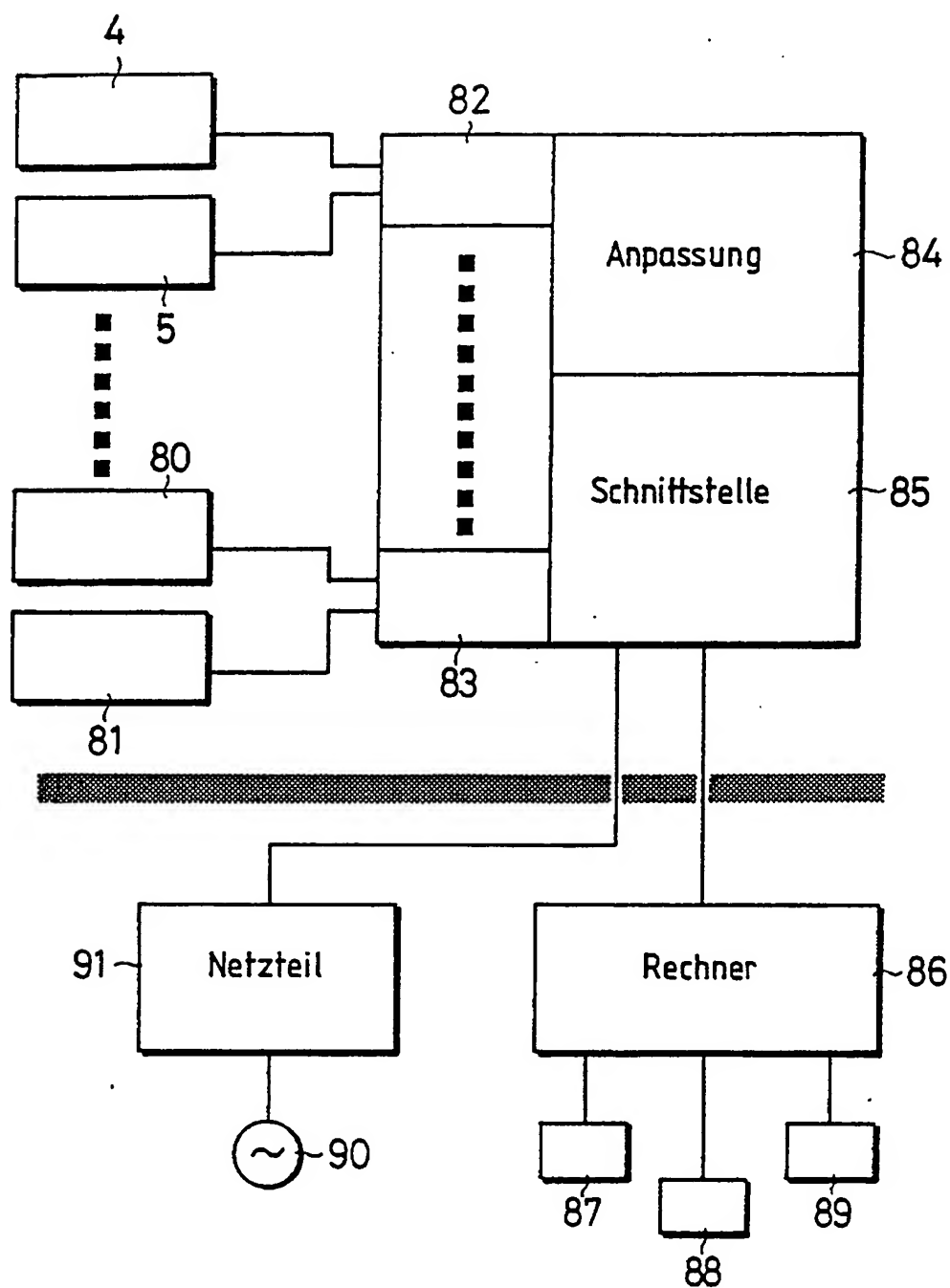


FIG. 7